

Научная статья

УДК 621.791.01, 621.791.052.4

## СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СПЛАВЕ Al–Fe–Ni ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

**Ирина Сергеевна Логинова<sup>1</sup>, Николай Артемьевич Попов<sup>2</sup>,  
Алексей Николаевич Солонин<sup>3</sup>, Асмаа Мостафа Халил<sup>4</sup>**

<sup>1,2</sup> Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

<sup>1,3,4</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,  
Москва, Россия

<sup>4</sup> Shoubra Faculty of Engineering, Benha University, Каир, Египет

<sup>1</sup> *i.s.loginova@urfu.ru*

**Аннотация.** В ходе исследования были изучены микроструктура и фазовый состав сплавов Al–Fe–Ni в литом состоянии и после лазерного плавления. После лазерной обработки в сплавах Al–Fe–Ni формировалась тонкая дендритная микроструктура без пористости и кристаллизационных трещин. Твердость сплавов лазерной обработки была в 2,5–3 раза выше твердости литых сплавов за счет образования твердого раствора на основе алюминия и мелких эвтектических частиц.

**Ключевые слова:** Al–Fe–Ni, лазерное плавление, неравновесная кристаллизация, микроструктура, твердость

**Финансирование:** исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта (№ 19–38–60037).

Original article

## STRUCTURAL AND PHASE TRANSFORMATIONS IN Al–Fe–Ni ALLOY DURING LOCAL LASER EXPOSURE IN ADDITIVE TECHNOLOGY

**Irina Sergeevna Loginova<sup>1</sup>, Nikolai Artemyevich Popov<sup>2</sup>,  
Alexey Nikolaevich Solonin<sup>3</sup>, Asmaa Mostafa Khalil<sup>4</sup>**

<sup>1,2</sup> Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

<sup>1,3,4</sup> National Research Technological University “MISIS”, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Shoubra Faculty of Engineering, Benha University, Cairo, Egypt

<sup>1</sup> *i.s.loginova@urfu.ru*

**Abstract.** In the course of the study, the microstructure and phase composition of Al–Fe–Ni alloys in the cast state and after laser melting were studied. After laser melting, a thin dendritic microstructure without porosity and crystallization cracks was formed. The hardness of laser-treated alloys was 2,5–3 times higher than in cast alloys due to formation of aluminium-based solid solution and fine eutectic particles.

**Keywords:** Al–Fe–Ni, laser melting, non-equilibrium crystallization, microstructure, hardness

**Funding:** the research was carried out with the financial support of the RFBR as part of a scientific project (№ 19–38–60037).

Разработка новых композиций материалов с высоким уровнем механических и технологических свойств, особенно при повышенных температурах, в настоящее время является актуальным направлением развития аддитивных технологий производства. Алюминиевые сплавы, легированные переходными металлами, являются перспективными жаропрочными материалами для применения при температуре 300–350 °С [1–5]. Было показано, что легирование переходными металлами, такими как Mn, Cr, Fe, Ni и Ce, увеличивает жаропрочность и улучшает литейные свойства алюминиевых сплавов [1–4]. Отрицательным эффектом при легировании переходными металлами является образование крупных первичных интерметаллических частиц. Однако сверхвысокая скорость охлаждения  $10^3$ – $10^5$  К/с позволяет подавить зародышеобразование и рекристаллизацию первичных интерметаллических частиц [6; 7].

В настоящей работе лазерное плавление объемного металла Al–Fe–Ni использовали как метод моделирования условий селективного лазерного сплавления. Исследовали формирование микроструктуры и фазового состава сплавов Al–Fe–Ni в процессе затвердевания.

Микроструктура и фазовый состав сплавов Al–Fe–Ni в литом состоянии и после лазерного плавления были исследованы методами SEM, TEM и XRD. В литых сплавах образуются фазы  $Al_3$  (Ni, Fe) и  $Al_9FeNi$ . После лазерного плавления в сплавах Al–Fe–Ni сформировалась дисперсная микроструктура дендритного типа без пор и кристаллизации-

онных трещин. Основными структурными составляющими являются твердый раствор на основе алюминия и мелкие эвтектические частицы фазы  $Al_3(Ni, Fe)$ . Образование первичной фазы  $Al_9FeNi$  подавлялось из-за высокой скорости охлаждения. Средний размер дендритной ячейки (Al) составлял 165, 80 и 27 нм в сплавах  $Al-2.5Fe-5.5Ni$ ,  $Al-2.5Fe-7.5Ni$  и  $Al-2.5Fe-9.5Ni$  (масс. %) соответственно. Размер эвтектических частиц составлял 10–70 нм. Содержание никеля в твердом растворе Al увеличивается с увеличением содержания никеля в сплаве, поскольку атомный радиус алюминия меньше по сравнению с никелем. Твердость сплавов после лазерного плавления в 2,5–3 раза выше, чем твердость сплавов в литом состоянии. Сплавы  $Al-Fe-Ni$  являются перспективными материалами для аддитивного производства из-за их тонкой, стабильной структуры и низких скоростей диффузии Fe и Ni.

#### Список источников

1. Novel heat-resistant Al-Si-Ni-Fe alloy manufactured by selective laser melting / D. R. Manca [et al.] // Mater. Lett. 2019. V. 236. № 676. P. 676–679.
2. Influence of Process Parameters on the Quality of Aluminium Alloy EN AW 7075 Using Selective Laser Melting (SLM) / N. Kaufmann [et al.] // Physics Procedia. 2016. V. 83. № 918. P. 918–926.
3. Evaluation of an Al-Ce alloy for laser additive manufacturing / A. Plotkowski [et al.] // Acta Mater. 2017. V. 126. № 507. P. 507–519.
4. Selective laser melting of a high strength Al single bond Mn single bond Sc alloy: Alloy design and strengthening mechanisms / Q. Jia [et al.] // Acta Mater. 2019. V. 171. № 108. P. 108–118.
5. A review of selective laser melting of aluminum alloys: Processing, microstructure, property and developing trends / J. Zhang [et al.] // J. Mater. Sci. Technol. 2019. V. 35. № 270. P. 270–284.
6. Towards a high strength aluminium alloy development methodology for selective laser melting / Q. Jia [et al.] // Mater. Des. 2019. V. 174.
7. Numerical simulation of eutectic solidification in the laser treatment of materials / M. Rappaz [et al.] // Phys. Acta. 1987. V. 60. № 924. P. 924–937.